

Calidad ambiental urbana en capitales de provincias peruanas

Urban environmental quality in the peruvian provincial capitals

Carlos Yengle Ruiz*

Escuela de Posgrado de la Universidad César Vallejo de Trujillo

*Autor correspondiente: cyengle@gmail.com (C. Yengle)

RESUMEN

El objetivo de la investigación fue determinar los componentes principales e índices sintéticos de la calidad ambiental urbana (ISCAU) para las capitales de provincias peruanas, aplicando el análisis estadístico de componentes principales (ACP). Se identificaron nueve indicadores factibles de obtener de fuentes oficiales como el Ministerio del Ambiente (MINAM) y el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI). Los componentes principales obtenidos son: (1) calidad ambiental dentro de la vivienda y (2) calidad ambiental fuera de la vivienda. Los indicadores del componente 1 son los porcentajes de: viviendas sin predominio de piso de tierra, viviendas con agua dentro, viviendas con servicios higiénicos, población urbana, familias que cocinan a gas, viviendas con alumbrado eléctrico. Los indicadores del componente 2 son: número de barredores por diez mil habitantes, áreas verdes conservadas per cápita y número de compactadoras, camiones o volquetes por 100 mil habitantes. Se obtuvieron los ISCAU para las ciudades estudiadas ubicándose en los tres primeros lugares: Arequipa (116,19), Trujillo (101,11), Chiclayo (94,03) y en los tres últimos lugares: Virú (48,78), Ilave (42,87) y Huamachuco (38,30).

Palabras clave: Indicador de calidad ambiental urbana; índice sintético de calidad ambiental urbana; análisis de componentes principales.

ABSTRACT

The objective of the research was to determine the main components and synthetic indexes of urban environmental quality (ISCAU) for the Peruvian provincial capitals, by applying the statistical analysis of main components (PCA). We identified nine indicators feasible to obtain from official sources such as the Ministry of the environment (MINAM) and the National Institute of statistics and Informatics (INEI). The obtained main components are: (1) environmental quality within the housing and (2) environmental quality outside of the dwelling. The component 1 indicators are the percentages of: housing without predominance of flat land, homes with water inside, houses with toilets, urban population, families that cooking gas, homes with electric lighting. The component 2 indicators are: number of sweepers per ten thousand population, green areas preserved per capita and number of compactors, trucks, or dump trucks per 100 thousand inhabitants. They were the ISCAU for the studied cities rank in the top three spots: Arequipa (116.19), Trujillo (101.11), Chiclayo (94.03) and in the last three places: Viru (48.78), faucet (42.87) and Huamachuco (38.30).

Keywords: synthetic indicator of urban environmental quality; index of urban environmental quality; principal component analysis

1. INTRODUCCIÓN

Uno de los principales problemas de gestión en la mayoría de los gobiernos municipales peruanos, es la deficiente gestión de la calidad ambiental urbana (CAU). En general existe poca claridad en cuanto al diseño y utilización de indicadores e índices ambientales a nivel de las ciudades pequeñas, aspectos que obstaculizan la gestión eficiente de las capitales provinciales y limitan su competitividad. Las mediciones mencionadas son muy importantes para apoyar la gestión eficiente de la CAU en los gobiernos locales y regionales. Generalmente las instituciones oficiales pertinentes del estado peruano difunden indicadores o índices ambientales a nivel de país, departamento o de ciudades grandes, pero no a nivel de ciudades pequeñas.

La medición de los aspectos ecológicos y ambientales urbanos requiere de la operacionalización de la variable ambiental de estudio para obtener dimensiones e indicadores que permitan su medición. Previo a la selección debe indagarse sobre los indicadores utilizados en otros estudios y los resultados obtenidos para la

medición de la variable conceptual ambiental en estudio (Giraud-Herrera y Morantes-Quintana, 2017). En general, los indicadores se seleccionan deductivamente cuando surgen de un marco teórico o inductivamente cuando son escogidos por la disponibilidad de los datos (Leva, 2005). Lo deductivo se puede aplicar a los indicadores recomendados de los eventos internacionales sobre medio ambiente y lo inductivo a los indicadores o variables para construirlos obtenidos y difundidos por fuentes oficiales del estado.

El año 2005 la CEPAL analizó la posición de los países de América Latina y El Caribe en el contexto del desarrollo sostenible mundial y decidió impulsar la producción de un conjunto de indicadores ambientales, sociales, económicos e institucionales, para poder evaluar el progreso alcanzado en los mencionados países, dando como resultado una propuesta de 35 indicadores ambientales (Quiroga, 2007). En los países latinoamericanos existe retraso en la producción de índices ambientales con respecto a otros tipos de índices. Sin embargo en algunos se realizan trabajos para construirlos, por ejemplo en la Provincia de Buenos Aires, Argentina, se han agrupado 23 variables en dos grandes dimensiones: a) recursos escénicos, recreativos o de amenidad y b) problemas ambientales (Celemín y Velásquez, 2011). Es evidente el interés en agrupar variables indicadores en dimensiones y componentes para luego construir ISCAU.

La gestión ambiental urbana (GAU) requiere estrategias y acciones basadas en información cuantitativa, y cualitativa confiables. En lo referente a la generación de información cuantitativa, en el Perú, se han elaborado diversas listas de indicadores para medir la calidad ambiental basadas en propuestas generadas en eventos internacionales y nacionales y que se han ido afinando con el transcurrir del tiempo. Hace algunos años la Dirección General de Investigación e Información Ambiental, realizó una reunión técnica intersectorial y aplicando los criterios de rigurosidad, variabilidad temporal, disponibilidad, sostenibilidad, relevancia y representatividad redujeron de 160 indicadores seleccionados previamente, a 30. Sin embargo de éstos, muy pocos podrían obtenerse a nivel de capitales provinciales.

La GAU de políticas, programas y proyectos y su correspondiente seguimiento y evaluación se debe apoyar en un conjunto de indicadores ambientales urbanos que permitan, además, brindar un diagnóstico de las condiciones ambientales (Guttman et al. 2004). Un objetivo, entre otros, que se pueden alcanzar con los indicadores ambientales urbanos, y los ISCAU obtenidos a partir de ellos, es la competencia entre ciudades o zonas de una ciudad por lograr mejores mediciones de la CAU (Pancorbo y Delgado, 2005). Estas mediciones permiten evaluar y tomar decisiones que favorecen la GAU.

La CAU es una variable latente determinada por un conjunto de factores ambientales urbanos que la afectan de manera positiva o negativa (Escobar, 2006). Una variable latente o conceptual en las ciencias sociales no es posible medir directamente, lo usual es que sus dimensiones están delimitadas y por lo tanto es posible identificar indicadores para cada una de ellas, buscando medir lo más aproximadamente posible la variable. Cada factor, componente o dimensión de la CAU debe desagregarse en un conjunto de indicadores factibles de medir. En la presente investigación se aplica el análisis de componentes principales (ACP), también denominado análisis factorial de componentes principales (AFCP), de tipo exploratorio, para determinar cuáles son las componentes principales que se pueden obtener a partir de nueve indicadores factibles de medir en las ciudades capitales de provincias peruanas.

El ACP es un método estadístico de análisis multivariante que trata fundamentalmente de transformar un conjunto de variables originales a un nuevo conjunto de variables no correlacionadas llamadas componentes principales. Es aplicable en situaciones en las que, para analizar un fenómeno, se dispone de información de muchas variables que están correlacionadas entre sí en mayor o menor grado. El ACP permite pasar a un nuevo conjunto de variables – las componentes principales -- que gozan de la ventaja de estar incorrelacionadas entre sí y que, además, pueden ordenarse de acuerdo con la información que llevan incorporada (Uriel y Aldás, 2005). Las variables originales en la presente investigación son los indicadores de calidad ambiental urbana que, luego de la aplicación del ACP, se agrupan en componentes principales no correlacionadas y que fueron utilizados para hallar los índices sintéticos de calidad ambiental.

En un estudio realizado por Pinzón y Echeverri (2010), revisaron y cruzaron variables ambientales propuestas en eventos internacionales a nivel mundial y seleccionaron 27, para evaluar la tendencia ambiental urbana en ciudades intermedias de menos de un millón de habitantes, definiendo finalmente un conjunto de indicadores ambientales que medidos y tratados estadísticamente permiten definir la mencionada tendencia.

En un estudio publicado por el Grupo de Estudio Ambiental (2010), refiriéndose a los grandes problemas ambientales urbanos, se plantea que una ciudad sustentable debe ser eficiente en el consumo de recursos, elegir energías limpias, reducir y reciclar desperdicios, controlar la contaminación, asegurar el verde urbano, conservar los ecosistemas urbanos y periurbanos, incluso resguardar su naturaleza y biodiversidad. Es decir, el grupo de estudio se está refiriendo a la CAU como uno de los grandes problemas ambientales.

La comparación de la gestión ambiental mediante los ISCAU puede ser una forma de generar competitividad, identificando las fortalezas y debilidades relacionadas a la calidad ambiental, asimismo, diagnosticar la problemática ambiental urbana y plantear las posibles soluciones (Guillermo y García, 2015), también pueden contribuir a la gestión regional municipal del medio ambiente, agrupando las ciudades según su perfil ambiental. De esta manera se pueden diseñar estrategias a nivel de agrupaciones de ciudades, según el perfil de CAU.

Se requiere elaborar ISCAU para medir periódicamente la calidad ambiental de las ciudades y cada cierto tiempo modificar, mejorar o remplazar los indicadores utilizados para su elaboración, lo cual podría generar cambios en las dimensiones o componentes de la CAU y en los rankings de calidad ambiental de las ciudades (por ejemplo, agregando un indicador de calidad del aire). Es importante tener en cuenta las recomendaciones del BID referidas a la sostenibilidad ambiental urbana y la coordinación a nivel comunitario e institucional con el propósito de coordinar acciones que la favorezcan (Zulaica y Tomadoni, 2015).

Castro (2002) construyó índices de desarrollo sostenible para comparar municipios de la comunidad de Andalucía (España), usando el análisis de componentes principales (ACP). Escobar (2006) presentó la aplicación del ACP para obtener el índice de calidad ambiental de la ciudad de Cali, Colombia, y propone un sistema de indicadores de calidad ambiental urbana. Guillermo y García (2015), construyeron ISCAU en base a 16 indicadores para 96 municipios de México, aplicando el análisis factorial de componentes principales y en el ranking que obtuvo, los primeros tres lugares fueron logrados por los municipios de Tlaxcala (100), Guadalajara (87,85) y Pachuca (79,10). obtuvo un ranking de CAU.

Para garantizar la sostenibilidad del medio ambiente (objetivo 7 del milenio), las políticas y gestión del medio ambiente deberán extenderse a nivel nacional, específicamente a nivel de ciudades medianas y pequeñas, lo cual requiere que se identifiquen un conjunto de indicadores factibles de obtener o medir. Algunos indicadores importantes como la calidad del aire y la producción de residuos sólidos per cápita, por ejemplo, todavía no están disponibles a nivel de ciudades pequeñas como son la mayoría de capitales de provincias. Para la producción de residuos sólidos en las viviendas existen estadísticas publicadas a nivel distrital pero aún no son muy confiables. Algunos investigadores toman muestras de viviendas para medir este indicador. Araiza, Chávez y Moreno (2017) realizaron un estudio de este tipo en Berriozábal, Chiapas México y obtuvieron como producto de un trabajo de campo de una semana, en una muestra de 91 viviendas, una generación promedio de 0.456 kg / hab / día.

En general, la calidad ambiental urbana (CAU), se considera como una componente o dimensión de la calidad de vida urbana (CVU). Esto puede ser utilizado para validar la CAU de una ciudad con la correspondiente componente de la CVU, mediante la medición de la correlación entre ambas. Según Hernández (2009) y Alguacil (2000), la CVU es un constructo social que tiene varias dimensiones básicas, siendo una de ellas la CAU. Asimismo, consideran subdimensiones importantes de la calidad ambiental, la calidad ambiental habitacional y la territorial.

Para elaborar un índice sintético que resuma la variabilidad observada en un conjunto de variables o indicadores, definiendo así el comportamiento de una variable latente, el ACP, constituye un instrumento de análisis empírico muy útil. (Castro, 2002). En la presente investigación se consideran nueve indicadores de calidad ambiental urbana factibles de obtener o de medir en las ciudades capitales de provincias, y luego de la aplicación del ACP, se agrupan los que aportan mayor explicación como componentes principales, factores o dimensiones de la CAU, para luego hallar los ISCAU.

El estudio se justifica considerando que la problemática del medio ambiente en general y de la CAU en particular, es una preocupación de primera prioridad a nivel local, nacional y mundial. Asimismo, para contribuir a la sostenibilidad del medio ambiente, planteada como uno de los objetivos del milenio, las políticas y gestión del medio ambiente deberán extenderse a nivel nacional y específicamente a nivel de ciudades medianas y pequeñas, para las que se requiere identificar un conjunto de indicadores ambientales factibles de medir.

Específicamente, la investigación se justifica porque la CAU protege la salud de los ciudadanos y es componente importante de la calidad de vida, asimismo, los ISCAU informan sobre el patrón de comportamiento de las condiciones ambientales en las ciudades y también pueden ser utilizados para hacer seguimiento y control periódico de la CAU y tomar acciones cuando disminuyen o cuando se desean mejorar. Finalmente este estudio permite elaborar un ranking de ciudades por sus ISCAU, generando una sana competencia para mejorarlos. Todo esto para mejorar la GAU.

El objetivo del estudio fue determinar las componentes principales de la CAU, a partir de indicadores factibles de medir en las ciudades capitales de provincias peruanas y los ISCAU, obtenidos aplicando el

análisis estadístico de componentes principales, con el propósito de difundir dos de los resultados más importantes logrados por el autor del presente artículo en su tesis doctoral (Yengle, 2014).

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Objeto de estudio

El objeto de estudio es la calidad ambiental urbana de las ciudades capitales de provincias peruanas con más de 20000 habitantes.

2.2 Medios

Los medios utilizados son las fuentes de información públicas peruanas del MINAM y del INEI. Fueron utilizadas para obtener las variables e indicadores de CAU, hallar los componentes principales y los ISCAU.

2.3 Métodos y técnicas

El estudio corresponde a una investigación cuantitativa, no experimental, transversal, descriptiva correlacional. El método estadístico utilizado es el ACP con el propósito de explorar y hallar las componentes principales de la CAU a partir de nueve indicadores identificados previamente factibles de obtener en las unidades de análisis que son las ciudades capitales de provincias peruanas. Una característica importante del ACP es que aun cuando permite obtener un número reducido de componentes, no se puede utilizar para eliminar variables debido a que se requieren todas las variables originales para evaluar las componentes principales en cada una de las unidades de análisis (Johnson, 2000). La población está constituida por 47 capitales provinciales con más de 20000 habitantes. No se consideraron la ciudad de Lima capital de la provincia de Lima y capital del Perú y la ciudad del Callao capital de la provincia constitucional del mismo nombre por considerar que ambas, por sus características especiales, una de ellas su población, corresponden a otro estrato.

Inicialmente se identificaron indicadores de CAU a partir de las conclusiones de diferentes eventos internacionales y nacionales sobre medio ambiente y se cruzaron con indicadores factibles de obtener para las capitales de provincias y como resultado fueron identificados los siguientes indicadores: % de población urbana, % de viviendas con agua dentro, % de viviendas con servicios higiénicos, % de viviendas con alumbrado eléctrico, % de familias que cocinan a gas y % de viviendas sin piso de tierra, áreas verdes conservadas per cápita (m^2), número de barredores por diez mil habitantes y número de compactadoras por cien mil habitantes. Los indicadores o los datos para construirlos fueron obtenidos de fuentes oficiales como INEI, MINAM (SINIA y SIGERSOL).

Luego de elaborada la matriz de datos de los nueve indicadores para las ciudades se aplicó el procesamiento y análisis estadístico mediante los siguientes pasos (1) Aplicación del ACP para hallar las componentes principales de la CAU, (2) Cálculo de los ISCAU para cada una de las ciudades, (3) Validación de los ISCAU distritales con los respectivos ICV e IDH, (4) Obtención de tablas, gráficos y estadísticas para describir el patrón de comportamiento de los ISCAU de las ciudades, (5) Comparación de ISCAU por regiones y tipos de capital.

Aplicando el ACP se transformó el conjunto variables a las componentes principales, mediante los siguientes pasos: (1) Medición de la adecuación muestral de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) y Prueba de Barlett, con el propósito de analizar la conveniencia o no de aplicar el ACP y que exista cierto grado de multicolinealidad entre los indicadores (correlación entre indicadores) (2) Obtención de las comunilidades, para medir la variación explicada por los factores para cada indicador (3) Determinación del número de Componentes principales y % de explicación de la CAU, para determinar cuántos componentes se requieren, los indicadores asignados a cada uno de ellos y el % explicado de la CAU por los componentes, (4) Obtención de la matriz de componentes principales, para presentar las correlaciones entre los indicadores y las componentes y el gráfico de los indicadores agrupados por componentes principales, (5) Obtención de los coeficientes para calcular las puntuaciones de las componentes, que son utilizados para calcular los ISCAU (6) Cálculo de los ISCAU para cada distrito (Uriel y Aldás, 2005).

Según el criterio de las raíces características, se deben seleccionar aquellas componentes cuya raíz característica excede la media, Asimismo, para cuantificar el nivel de explicación que aportan las componentes seleccionadas, se utiliza el porcentaje de variación explicada. Con el propósito de lograr una mayor contribución, de los factores, a la explicación del fenómeno que se estudia, se analiza la rotación de

éstos. Uno de los tipos de rotación más utilizados es la rotación ortogonal y dentro de ésta la denominada rotación varimax (Uriel y Aldás, 2005)

La rotación de factores consiste en lograr que una de las cargas del indicador sea lo más alta para que se asocie sólo a un factor, mientras que las otras sean bajas para que no tengan relación con otros factores. Al rotar, no se explica mayor o menor información; la variación total se mantiene, así como las comunales. Gráficamente, lo que se trata de hacer al rotar los factores, es que los ejes se acerquen a las variables y queden lo más cerca posible a éstos y que las variables se agrupen bajo una sola característica, lo cual sería la mejor solución (De la Garza García, Morales Serrano, y González Cavazos, 2013)

El ACP es un método estadístico que es utilizado para transformar un conjunto de variables o indicadores correlacionados en un conjunto menor de variables incorrelacionadas denominadas componentes principales (Johnson, 2000). En el ACP, a mayor correlación entre las variables indicadoras originales, mayor será la parte de la variación explicada por los primeros ejes (Angeletto y Ruiz, 2015).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las capitales de provincias consideradas en el estudio fueron seleccionadas de la población de capitales de provincias peruanas con más de veinte mil habitantes, utilizando como criterio de inclusión, que debía disponerse de información de nueve indicadores de calidad ambiental urbana, previamente identificados.

Tabla 1. Indicadores ambientales urbanos para capitales de provincias peruanas

Nr o	Ciudad	% de poblaci on urbana	% de viviend as con agua dentro	% de viviend as con servicio s higiénic os	% de vivienda s con alumbr ado eléctrico	% de famili as que cocina n a gas	Áreas verdes conservad as (m2) per cápita	% de viviendas sin predomi nio de piso de tierra	Nro. barredor es por diez mil habitantes	Nro. compactado ras por cien mil habitantes
1	Abancay	89,5	62	56,3	90,3	58,4	0,7545	61,5	5,89	8,72
2	Andahuaylas	72,9	73,8	52,9	79,1	33,4	0,5376	36,5	11,78	7,36
3	Arequipa	100	91,6	91,3	99,1	83	10,7934	98,1	24,06	14,63
4	Ayacucho	98,1	76,1	65,3	84,3	61	3,0045	60,1	5,25	6,06
5	Bagua Grande	62,3	33,7	33,7	63,2	41,7	1,2534	41,7	28,81	10,17
6	Barranca	89	72,7	70,6	87,9	81,6	0,2203	68,4	6,43	5,51
7	Cajamarca	79,7	74,7	61,9	61,9	62,7	0,9459	63,2	4,53	7,32
8	Chachapoyas	96,9	71	63,9	90,9	70,2	0,1963	69,4	4,31	8,62
9	Chepén	90,6	70	59	79,5	65,2	0,04	70,42	3,63	4,84
10	Chancay	89,8	63,5	48,4	86,7	84	0,9513	70,6	4,46	6,69
11	Chiclayo	99,9	83,8	83,9	95,8	84,2	2,2577	79,7	7,9	6,14
12	Chimbote	96,1	83,9	78,9	89,8	80,8	0,0012	72,9	5,54	6,75
13	Chulucanas	72,4	51,4	28,5	77,6	25,7	0,3455	34,4	7,61	3,62
14	Cusco	97,8	70,3	68,5	95,8	73,9	1,1541	68,7	12,22	9,4
15	Huacho	97,4	76,4	79	92,6	86,2	0,3788	84,2	1,11	3,7
16	Huamachuco	57,1	15,3	35,3	46,7	13,7	0,0391	21,9	11,34	10,01
17	Huancayo	98,4	81,1	75,2	95,1	77,5	0,7132	77	7,71	4,53
18	Huanta	98,4	81,1	75,2	95,1	77,5	0,1523	77	2,81	1,81
19	Huánuco	95,9	74,7	71,7	87,9	74,7	0,4683	70,7	4,88	12,55
20	Huaral	89,2	63,5	57,3	88	76,7	0,0329	72,1	5,19	7,59
21	Huaraz	89,7	79,1	68,4	85,9	57	0,5161	60,9	7,34	3,97
22	Ica	99,7	82,6	74,6	89,1	86,3	1,2541	79,3	5,69	4,81
23	Ilave	40,9	21,4	18,9	63,4	24,1	0,1264	20,4	23,47	9,03
24	Ilo	99,2	81,4	76,1	94,6	80,8	1,1918	77,4	8,87	8,53
25	Imperial	92,8	69,1	62,6	82,4	74,7	0,8213	47,6	9,78	2,97
26	Iquitos	97,9	79	79,3	92,3	59,2	2,4095	79,9	8,55	2,57
27	Jaén	83,2	61,4	59,8	80,6	66,8	1,7193	71,2	8,38	6,99
28	Juanjui	88,7	59,4	54,3	82,8	48,9	3,5437	61,1	4,15	4,15
29	Juliaca	96,3	49,9	49,9	85,2	60,4	0,2227	51,8	4,8	4,15
30	Mollendo	94,8	80,5	76,5	91,6	74,3	5,5553	79,7	7,9	8,78

Nr o	Ciudad	% de población urbana	% de viviendas con agua dentro	% de viviendas con servicios higiénicos	% de viviendas con alumbrado eléctrico	% de familias que cocinan a gas	Áreas verdes conservadas (m2) per cápita	% de viviendas sin predominio de piso de tierra	Nro. barredores por diez mil habitantes	Nro. compactadoras por cien mil habitantes
31	Moquegua	94,2	67,6	67,6	84,7	60,9	3,1611	58,4	10,74	6,44
32	Moyobamba	65,6	56,2	41,9	59,4	45,5	0,5785	47,8	4,22	4,68
33	Paita	100	54	47,6	81	67,4	1,5357	57,6	2,07	2,76
34	Pisco	99,4	66,9	62,3	71,6	80,1	0,0223	66,4	6,04	7,32
35	Piura	97,9	74,2	64,8	84	73,4	0,4708	62,7	9,81	5,1
36	Puno	95,7	65,5	62,8	88	73,1	0,0453	75	4,66	4,99
37	San V. Cañete	80,7	54,7	47,6	80	76,1	2,066	59,9	13,33	5,33
38	Sechura	97,5	62,9	24	64,5	65	0,2722	53,8	4,67	9,33
39	Sicuani	77	60,9	41,6	83,8	39	0,141	37,8	25,38	4,7
40	Sullana	93,2	66,3	63,8	82,4	51,8	0,5251	57,4	6,17	4,11
41	Tacna	93,6	81,2	80,1	92,2	76,2	4,468	81,2	2,26	6,79
42	Tarapoto	99,3	85,5	73,3	96	78,5	0,3807	81,3	1,77	13,27
43	Tarma	86,1	67,9	58,9	92,5	63,8	0,1737	62,5	4,63	9,27
44	Trujillo	99,9	88,4	88,2	97	88,3	4,0306	90,6	12,18	4,75
45	Tumbes	99,6	73,6	62,9	86,9	80,2	0,3483	65,4	10,03	5,28
46	Virú	75,6	45,8	20,3	74,7	47,6	0,1804	34,5	4,44	5,55
47	Yurimaguas	77,5	50,6	33,8	63,1	30,6	0,0206	44	12,22	4,07

FUENTE. INEI (Censos 2007), MINAM 2012), RENAMU (2012)

En la **Tabla 1** se presentan las 47 capitales de provincias peruanas estudiadas y los datos de los nueve indicadores considerados para cada una de ellas. De éstas, 28 (60 %) son capitales de provincias y 19 (40 %) son capitales de provincias y también capitales departamentales. No fueron consideradas las ciudades de Lima y Callao por constituir metrópolis con características diferentes a las otras capitales de provincias del país, una de ellas el número de habitantes.

Tabla 2. Estadísticas y comunales de indicadores en capitales provinciales

Indicadores	Media	Coef. de variación	Comunalidad
1. % población urbana	89,09	14,63	,49
2. % viviendas con agua dentro	67,16	23,79	,850
3. % viviendas con servicios higiénicos	59,97	29,75	,851
4. % viviendas con alumbrado eléctrico	83,34	13,99	,748
5. % familias que cocinan a gas	64,73	28,55	,801
6. Áreas verdes conservadas (m2) pc	1,28	150,94	,688
7. % viviendas sin predominio piso tierra	63,07	27,24	,912
8. N° barredores por diez mil habitantes	8,28	74,11	,687
9. N° compactadoras por cien mil habitantes	6,50	43,28	,505

Fuente: Adaptada de tesis de doctorado del autor del presente artículo

En la **Tabla 2** se presentan los nueve indicadores de CAU considerados con sus promedios, coeficientes de variación (CV) y las comunales obtenidas aplicando el ACP. Se observa que los indicadores más homogéneos son: porcentaje de viviendas con alumbrado eléctrico con CV de 13,99 % y porcentaje de población urbana con CV de 14,63 %, asimismo, los más heterogéneos son los indicadores 6 y 8 con coeficientes de variación de 150,94% y 74,11 % respectivamente.

El ACP para hallar componentes principales de la CAU fue aplicada en investigaciones en otros países. En España, Castro (2002), lo aplicó para estudiar el desarrollo sostenible y como parte de él la calidad ambiental urbana para las ciudades más pobladas de la comunidad de Andalucía. Similar a lo que aconteció en la ejecución del presente trabajo, tuvo dificultades para obtener información medioambiental de las ciudades.

Sin embargo logró identificar 22 indicadores, obteniendo 8 componentes principales. Al respecto Castro menciona que, ante la carencia de información medioambiental, en España se estaban haciendo esfuerzos para organizar información estadística que permita considerar otros indicadores medioambientales. En Perú, el MINAM y el INEI están abocados a esta tarea.

Escobar (2004), aplicó el ACP en Cali, Colombia y a partir de 39 indicadores de CAU la desagregó en diez áreas temáticas y dos componentes: índice de flujo urbano e índice de medio ambiente urbano, obteniendo a partir de éstos un índice de calidad ambiental (ICA). Parte de los indicadores utilizados por Escobar fueron obtenidos mediante información georeferenciada o estimados para las 21 comunas de Cali. En el presente estudio fueron consideradas 47 ciudades de todas las regiones del país y fueron identificados 9 indicadores para los que fue posible obtener información para todas las ciudades consideradas. En el Perú, el MINAM y el INEI difunden periódicamente indicadores ambientales a nivel nacional y a nivel departamental, no a nivel de ciudades capitales de provincias o de distritos, lo cual no permite tener información a nivel de estas últimas para apoyar la gestión ambiental urbana. Uno de los objetivos del presente estudio es hallar ISCAU para las ciudades capitales de provincias peruanas que les permitan apoyar la mencionada gestión.

Previo a la aplicación del ACP, para hallar los componentes principales, en la presente investigación, se realizaron dos pruebas para evaluar la posibilidad de su aplicación. La primera es la denominada medida de adecuación muestral de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO), obteniéndose un valor de 0,85, que es una medida de buena adecuación de los datos para aplicar el análisis factorial, considerando que $0,80 < KMO < 0,90$, (De la Garza, et al., 2012). La segunda prueba, de Bartlett, es para probar que la matriz de las correlaciones entre los indicadores es diferente a la matriz identidad, lo cual permite cierto grado de multicolinealidad entre los indicadores. Se probó que la matriz de correlaciones es diferente a la matriz identidad ($p < 0,01$), (De la Garza et al., 2012; Uriel y Aldás, 2005).

En la última columna de la Tabla 1 se presentan las comunalidades, es decir, las proporciones de la variación de los indicadores explicadas por los componentes o factores obtenidos. Así, el indicador % de viviendas sin predominio de piso de tierra tiene la mayor proporción de variación explicada por los factores con una comunalidad de 0,912, y el indicador que tiene la menor proporción de variación explicada es número de compactadoras por cien mil habitantes con una comunalidad de 0,505.

Tabla 3. Varianza total explicada. Método ACP

Componente	Autovalores iniciales		
	Total	% de la varianza	% acumulado
1	5,263	58,476	58,476
2	1,628	18,093	76,569

Fuente: Adaptada de tesis de doctorado del autor del presente artículo

La **Tabla 3** presenta las dos primeras componentes del análisis, seleccionadas con el criterio de autovalores mayores que la media. Las dos componentes principales obtenidas, aplicando el ACP, explican en 76,57 % la variación total de la CAU. La componente 1 es la que tiene mayor poder de explicación con el 58,5 % y la componente 2 contribuye con el 18,1 %.

Tabla 4. Matriz de componentes principales

Indicadores	Componente	
	1	2
% de viviendas sin predominio de piso de tierra	,951	,086
% de viviendas con agua dentro	,922	-,006
% de viviendas con servicios higiénicos	,915	,118
% de población urbana	,898	-,207
% de familias que cocinan a gas	,892	-,071
% de viviendas con alumbrado eléctrico	,864	,038
Número de barredores por diez mil habitantes	-,380	,737
Áreas verdes conservadas (m ²) per cápita	,422	,714
Número de compactadoras por cien mil habitantes	,015	,711

Fuente: Adaptada de tesis de doctorado del autor del presente artículo

La matriz de componentes principales, que se presenta en la **Tabla 4**, indica que los primeros seis indicadores conforman la primera componente principal y los últimos tres conforman la segunda. Considerando los indicadores que conforman la primera componente, fue denominada componente calidad ambiental dentro de la vivienda, asimismo la componente constituida por los otros tres indicadores fue denominada componente calidad ambiental fuera de la vivienda. Los valores que se presentan en la Tabla 3 son las correlaciones entre los indicadores y las componentes. Estas dos componentes se tomaron como base para el cálculo de los ISCAU para todas las ciudades.

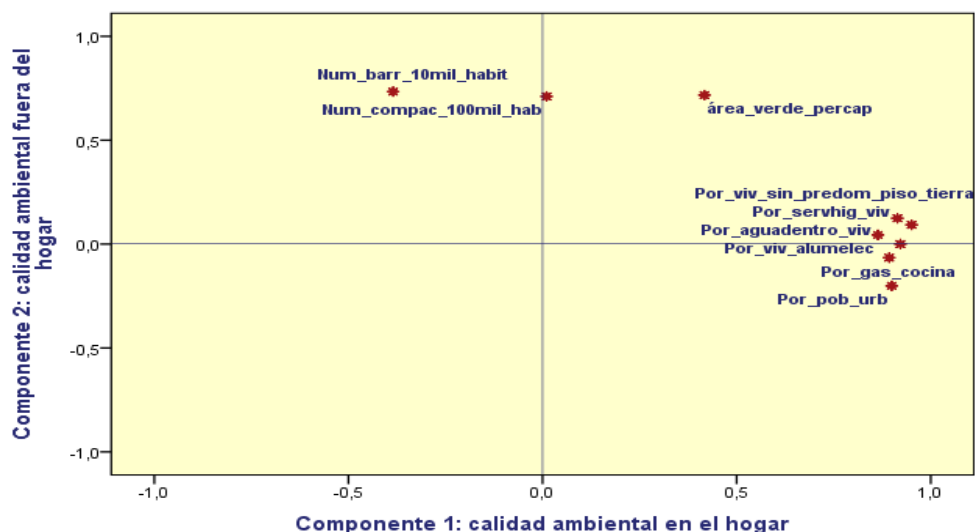


Figura 1. Gráfico de componentes principales. Nota. Elaborada en base a información de Tabla 3.

En la **Figura 1** se observa cómo se han agrupado los indicadores de los componentes principales. En las partes inferior y superior de los cuadrantes de la derecha se ubican los indicadores de la componente calidad ambiental dentro de la vivienda con valores cercanos a 1 en el eje de la componente 1 y en la parte superior de los cuadrantes superiores están los indicadores de la componente 2: calidad ambiental fuera de la vivienda con valores de un poco superiores a 0,7 en el eje de la componente 2.

Tabla 5. Matriz de coeficientes para cálculo de puntuaciones de las componentes

Indicadores	Componentes	
	1	2
Porcentaje de población urbana	,171	-,126
Porcentaje de viviendas con agua dentro	,175	-,003
Porcentaje de viviendas con servicios higiénicos	,173	,074
Porcentaje de viviendas con alumbrado eléctrico	,164	,025
Porcentaje de familias que cocinan a gas	,170	-,043
Áreas verdes conservadas (m2) per cápita	,077	,439
Porcentaje de viviendas sin predominio de piso de tierra	,180	,054
Número de barredores por diez mil habitantes	-,075	,452
Número de compactadoras por cien mil habitantes	,000	,436

Fuente: Tesis de doctorado del autor del presente artículo

Los coeficientes que se presentan en la **Tabla 5** son los coeficientes c_{hi} que se presentan en la ecuación:

$$Y_{hi} = c_{h1}X_{1i} + c_{h2}X_{2i} + \dots + c_{hp}X_{pi}, \quad h = 1, 2, \dots, p, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (1)$$

donde los X_{pi} son los valores de las variables originales de los indicadores. La ecuación (1) permite calcular los Y_{hi} que corresponden a los ISCAU de las ciudades.

Tabla 6. Ranking de ciudades según ISCAU y niveles

RANKING	CIUDADES	ISCAU	NIVEL	RANKING	CIUDADES	ISCAU	NIVEL	NIVEL	CIUDADES	ISCAU	NIVEL
1	Arequipa	116,19	ALTO	17	Tumbes	80,97	MEDIO	33	Cajamarca	71,68	BAJO
2	Trujillo	101,11		18	Chachapoyas	80,29		34	Sullana	71,43	
3	Chiclayo	94,03		19	Piura	79,32		35	Juanjui	69,07	
4	Mollendo	92,20		20	Puno	78,62		36	Paita	65,77	
5	Ilo	91,31		21	Moquegua	78,56		37	Sicuani	65,60	
6	Tarapoto	91,19		22	Huaral	77,72		38	Juliaca	64,95	
7	Tacna	90,31		23	Ayacucho	77,65		39	Andahuaylas	64,77	
8	Ica	88,49		24	Huaraz	77,13		40	Sechura	60,24	
9	Huancayo	88,15		25	Jaén	76,65		41	Bagua Grande	59,91	
10	Chimbote	87,69		26	Tarma	76,28		42	Moyobamba	55,17	
11	Huacho	87,54		27	Pisco	76,21		43	Yurimaguas	53,11	
12	Iquitos	86,94		28	Chancay	75,69		44	Chulucanas	49,80	
13	Cusco	86,38		29	Chepén	74,08		45	Virú	48,78	
14	Huánuco	85,19		30	Abancay	73,97		46	Ilave	42,87	
15	Huanta	84,83		31	Imperial	73,22		47	Huamachuco	38,30	
ISCAU promedio nivel alto			91	32	San Vte Cañete	72,10		ISCAU promedio nivel bajo			59
16	Barranca	81,98	ISCAU promedio nivel medio			77					

Fuente: Tesis de doctorado del autor del presente artículo

La **Tabla 6** presenta los ISCAU para todas las ciudades involucradas en el estudio clasificadas en un ranking y en tres niveles: Alto, medio y bajo. Las tres ciudades que obtienen los más altos ISCAU son Arequipa (116,19), Trujillo (101,11) y Chiclayo (94,03) y las tres ciudades que obtienen los más bajos ISCAU son: Virú (48,78), Ilave (42,87) y Huamachuco (38,30).

4. CONCLUSIONES

Se determinaron dos componentes principales de la calidad ambiental urbana para las ciudades capitales de provincias peruanas mediante la aplicación del método ACP, a partir de 9 indicadores factibles de obtener.

Considerando los indicadores agrupados en cada una de las componentes, se denomina a la componente 1, CAU dentro de la vivienda con 6 indicadores y a la componente 2 se denomina CAU fuera de la vivienda con 3 indicadores.

A partir de las dos componentes principales obtenidas se calcularon los ISCAU para las ciudades capitales de provincias consideradas en el estudio. Las ciudades que ocuparon los primeros lugares y sus correspondientes ISCAU, entre paréntesis, son: Arequipa (116,19), Trujillo (101,11) y Chiclayo (04,03). Las tres ciudades que ocuparon los últimos lugares son: Virú (48,78), Ilave (42,87) y Huamachuco (38,30).

El tercio superior de ciudades con respecto al ISCAU está constituido por ciudades con ISCAU máximo de 116,19 y mínimo de 84,83 e ISCAU promedio de 91,44. En este tercio, el 60% de ciudades pertenecen a la costa, el 27 % a la sierra y el 13 % a la selva.

El tercio medio está constituido por ciudades con ISCAU máximo de 81,98 y mínimo de 72,10 e ISCAU promedio de 77,08. En este tercio, el 50 % de las ciudades pertenecen a la costa, el 38 % a ciudades de la sierra y el 12 % a ciudades de la selva.

El tercio inferior está constituido por ciudades con ISCAU máximo de 71,68 y mínimo de 38,30 e ISCAU promedio de 58,76. En este tercio, el 33 % de las ciudades pertenecen a la costa, el 40 % a ciudades de la sierra y el 27 % a ciudades de la selva.

No se consideró un indicador de calidad del aire de las ciudades debido a que no se disponía de esta información para la gran mayoría de las ciudades estudiadas. Es importante que en futuros estudios similares se incluya algún indicador de la calidad del aire considerando que este indicador podría disminuir el índice de calidad ambiental de las ciudades capitales provinciales grandes, por su parque automotor y desarrollo industrial no controlado. Asimismo se recomienda estratificar las ciudades capitales de provincias según su población y desarrollo socio-económico.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alguacil, J. 2000. Calidad de vida y praxis urbana. Nuevas iniciativas de gestión ciudadana en la periferia social de Madrid. 691-699. Disponible en: <http://habitat.aq.upm.es/cvpu/acvpu.pdf>.
- Angeletto, F.; Ruiz, J. 2015. Gestión ambiental de ciudades medias de Brasil: ni siquiera una sostenibilidad blanda. Revista *Caminhos de Geografia. Uberlandia, Dez/2015*: 84-94.
- Araiza, J.; Chávez, J.; Moreno, J. 2017. Cuantificación de residuos sólidos urbanos generados en la cabecera municipal de Berriozábal, Chapas, México. Rev. Int. Contam. Ambie. 33(4) 691-699. DOI: 10.20937/RICA.2017.33.04.12
- Castro, J. 2004. Indicadores de Desarrollo Sostenible Urbano. Una aplicación para Andalucía. Tesis de doctorado, Universidad de Málaga. España. 540 pp.
- Celemín, J.; Velásquez, G. 2015. Elaboración y aplicación de un índice de calidad ambiental para la región del nordeste argentino, 2010. Economía, sociedad y territorio, 15(47): 123-151.
- De la Garza, J., Morales, B. y González, B. 2013. Análisis estadístico multivariante Un enfoque teórico y práctico. 1ra Edición. Editorial McGraw-Hill. México, D.F., México. 712 pp.
- Escobar, L. 2006. Indicadores sintéticos de calidad ambiental: un modelo general para grandes zonas urbanas. Revista eure, 32(96):73-98
- Giraud-Herrera, L.; Morantes-Quintana, G. 2017. Aplicación del análisis multivariante para la sostenibilidad ambiental urbana. Revista *Bitácora Urbano Territorial*: 89-100.
- Grupo GEA. 2010. Reporte ambiental de Lima y Callao, 2010. Evaluación de avances a 5 años del informe GEO. Grupo GEA. Universidad Científica del Sur. Disponible en: <https://sinia.minam.gob.pe/documentos/reportes-ambientales/lima-callao-2010>
- Guillermo, S.; García, I. 2015. Índice de Competitividad Municipal 2013: Metodología para su construcción basada en análisis Factorial y su aplicación en municipios urbanos en México. *Revista de Métodos Cuantitativos para la Economía y la Empresa*: 112-153.
- Guttman, E.; Zorro, C.; Cuervo, A.; Ramírez J. 2004. Diseño de un sistema de indicadores socio ambientales para el Distrito Capital de Bogotá. estudios y perspectivas. Serie estudios y perspectivas = CEPAL. Disponible en https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/4800/1/S044210_es.pdf
- Hernández, A. 2009. Calidad de vida y medio ambiente urbano. Indicadores locales de sostenibilidad y calidad de vida urbana. *Revista Invi*: 79-111.
- Johnson, D. 2000. Métodos multivariados aplicados al análisis de datos. 1ra. Edición en español. Editorial International Thomson Editores. México, D.F., México. 566 pp.
- Leva, G. 2005. Indicadores de calidad de vida urbana. Universidad Nacional de Quilmes. Disponible en: http://www.institutodeestudiosurbanos.info/dmdocuments/cendocieu/coleccion_digital/Observatorios_Urbanos/Indicadores_Calidad_Vida-Leva_G-2005.pdf
- Pancorbo, J.; Delgado, J. 2005. Los Sistemas de Indicadores Urbanos como apoyo a la toma de decisiones de Marketing en la gestión urbana. Documento de la Red Internacional de Marketing y Desarrollo Urbano. Disponible en: <https://www.jstor.org/stable/20797156>
- Pinzón, M.; Echeverri, A. 2010. La tendencia ambiental urbana en ciudades intermedias. Revista Gestión y ambiente: 37-50.
- Quiroga, R. 2007. Indicadores ambientales y de desarrollo sostenible: avances y perspectivas para América latina y el Caribe. Serie Manuales. CEPAL. Disponible en: <http://observatorioirsb.org/indicadores-ambientales-y-de-desarrollo-sostenible-avances-y-perspectivas-para-america-latina-y-el-caribe.pdf>
- Uriel, E., y Aldás, J. 2005. Análisis Multivariante Aplicado. 1ra. Edición. Thomson Editores Spain. Paraninfo. Madrid, España. 531 pp.

- Yengle, C. 2014. Diseño de indicadores sintéticos de calidad ambiental urbana para las principales ciudades peruanas con enfoque multivariante. Tesis de doctorado, Universidad Nacional de Trujillo, Trujillo, Perú. 103 pp.
- Zulaica, L.; Tomadoni, M. 2015. Indicadores de sostenibilidad ambiental en el periurbano de la Ciudad de Mar del Plata, Argentina. *Anales de Geografía*, 35(2): 195-216.